

## Chương 1

### CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Mục tiêu : Trang bị cho sinh viên các khái niệm cơ bản về hệ thống truyền động

Tài liệu tham khảo : Bùi Quốc Khánh (2002), Giáo trình Truyền động điện, NXBKHK

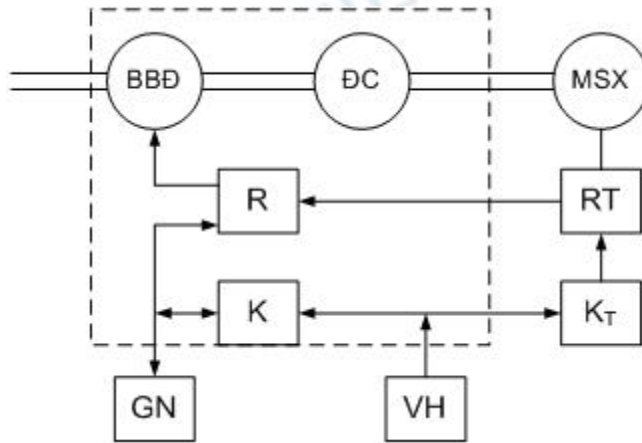
#### 1.1. Cấu trúc và phân loại hệ thống truyền động điện tự động (TĐĐ TĐ)

##### 1.1.1. Cấu trúc của hệ thống truyền động điện tự động:

###### 1.1.1.1. Định nghĩa hệ thống truyền động điện tự động:

Hệ truyền động điện tự động (TĐĐ TĐ) là một tổ hợp các thiết bị điện, điện tử, v.v. phục vụ cho việc biến đổi điện năng thành cơ năng cung cấp cho các cơ cấu công tác trên các máy sản xuất, cũng như gia công truyền tín hiệu thông tin để điều khiển quá trình biến đổi năng lượng đó theo yêu cầu công nghệ.

###### 1.1.1.2. Cấu trúc chung:



**Hình 1-1: Mô tả cấu trúc chung của hệ TĐĐ TĐ.**

BBĐ: Bộ biến đổi; ĐC: Động cơ điện; MSX: Máy sản xuất; R và RT: Bộ điều chỉnh truyền động và công nghệ; K và K<sub>T</sub>: các Bộ đóng cắt phục vụ truyền động và công nghệ; GN: Mạch ghép nối; VH: Người vận hành.

*Cấu trúc của hệ TĐĐ TĐ gồm 2 phần chính:*

- Phần lực (mạch lực): từ lưới điện hoặc nguồn điện cung cấp điện năng đến bộ biến đổi (BBĐ) và động cơ điện (ĐC) truyền động cho phụ tải (MSX). Các bộ biến đổi như: bộ biến đổi máy điện (máy phát điện một chiều, xoay chiều, máy điện khuếch đại), bộ biến đổi điện tử (khuếch đại từ, cuộn kháng bảo hoà), bộ biến đổi điện tử, bán dẫn (Chỉnh lưu tiristor, bộ điều áp một chiều, biến tần transistor, tiristor). Động cơ có các loại như: động cơ một chiều, xoay chiều, các loại động cơ đặc biệt.

- Phần điều khiển (mạch điều khiển) gồm các cơ cấu đo lường, các bộ điều chỉnh tham số và công nghệ, các khí cụ, thiết bị điều khiển đóng cắt phục vụ công nghệ và cho

người vận hành. Đồng thời một số hệ TĐĐ TĐ khác có cả mạch ghép nối với các thiết bị tự động khác hoặc với máy tính điều khiển.

### **1.1.2. Phân loại hệ thống truyền động điện tự động:**

- Truyền động điện không điều chỉnh: thường chỉ có động cơ nối trực tiếp với lưới điện, quay máy sản xuất với một tốc độ nhất định.

- Truyền động có điều chỉnh: tùy thuộc vào yêu cầu công nghệ mà ta có hệ truyền động điện điều chỉnh tốc độ, hệ truyền động điện tự động điều chỉnh mô men, lực kéo, và hệ truyền động điện tự động điều chỉnh vị trí. Trong hệ này có thể là hệ truyền động điện tự động nhiều động cơ.

- Theo cấu trúc và tín hiệu điều khiển mà ta có hệ truyền động điện tự động điều khiển số, hệ truyền động điện tự động điều khiển tương tự, hệ truyền động điện tự động điều khiển theo chương trình ...

- Theo đặc điểm truyền động ta có hệ truyền động điện tự động động cơ điện một chiều, động cơ điện xoay chiều, động cơ bước, v.v.

- Theo mức độ tự động hóa có hệ truyền động không tự động và hệ truyền động điện tự động.

- Ngoài ra, còn có hệ truyền động điện không đảo chiều, có đảo chiều, hệ truyền động đơn, truyền động nhiều động cơ, v.v.

## **1.2. Các khái niệm cơ bản về hệ thống truyền động điện :**

### **1.2.1. Đặc tính cơ của máy sản xuất.**

+ Đặc tính cơ của máy sản xuất là quan hệ giữa tốc độ quay và mômen cản của máy sản xuất:

$$M_c = f(\omega) \quad (1.1)$$

+ Đặc tính cơ của máy sản xuất rất đa dạng, tuy nhiên phần lớn chúng được biểu diễn dưới dạng biểu thức tổng quát:

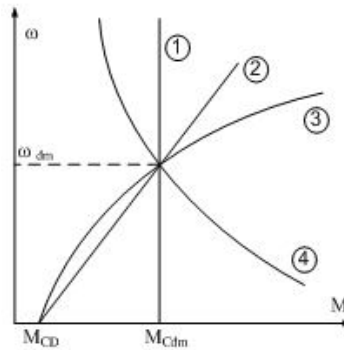
$$M_c = M_{c0} + (M_{đm} - M_{c0}) \left( \frac{\omega}{\omega_{đm}} \right)^n \quad (1.2)$$

Trong đó:

$M_c$  - mômen ứng với tốc độ  $\omega$

$M_{c0}$  - mômen ứng với tốc độ  $\omega = 0$ .

$M_{đm}$  - mômen ứng với tốc độ định mức  $\omega_{đm}$



### Hình 1.2: Đặc tính cơ của một số MSX.

+ Ta có các trường hợp số mũ  $q$  ứng với các tải:

- Khi  $q = -1$ , mômen tỷ lệ nghịch với tốc độ, tương ứng các cơ cấu hình máy tiện, doa, máy cuốn dây, cuộn giấy, ... (1)

Đặc điểm của loại máy này là tốc độ làm việc càng thấp thì mômen cản (lực cản) càng lớn.

- Khi  $q = 0$ ,  $M_c = M_{dm} = \text{const}$ , tương ứng các cơ cấu máy nâng hạ, cầu trục, thang máy, băng tải, cơ cấu ăn dao máy cắt gọt, ... (2)

- Khi  $q = 1$ , mômen tỷ lệ bậc nhất với tốc độ, tương ứng các cơ cấu ma sát, máy bào, máy phát một chiều tải thuần trở... (3)

- Khi  $q = 2$ , mômen tỷ lệ bậc hai với tốc độ, tương ứng các cơ cấu máy bơm, quay gió, máy nén, ... (4)

\* Ngoài ra, một số máy sản xuất có đặc tính cơ khác, như:

- Mômen phụ thuộc vào góc quay  $M_c = f(\varphi)$ ; hoặc mômen phụ thuộc vào đường đi  $M_c = f(s)$ , các máy công tác có pittông, các máy trục không có cáp cân bằng có đặc tính thuộc loại này.

- Mômen phụ thuộc vào số vòng quay và đường đi  $M_c = f(\omega, s)$  như các loại xe điện.

- Mômen phụ thuộc vào thời gian  $M_c = f(t)$  như máy nghiền đá, nghiền quặng.

#### 1.2.2. Đặc tính cơ của động cơ điện:

Đặc tính cơ của động cơ điện là quan hệ giữa tốc độ quay và mômen của động cơ:

$$M = f(\omega) \quad (1.3)$$

\* Thường người ta phân biệt hai loại đặc tính cơ:

+ Đặc tính cơ tự nhiên: là đặc tính có được khi động cơ nối theo sơ đồ bình thường, không sử dụng thêm các thiết bị phụ trợ khác và các thông số nguồn cũng như của động cơ là định mức. Như vậy mỗi động cơ chỉ có một đặc tính cơ tự nhiên.

+ Đặc tính cơ nhân tạo hay đặc tính cơ điều chỉnh: là đặc tính cơ nhận được sự thay đổi một trong các thông số nào đó của nguồn, của động cơ hoặc nối thêm thiết bị phụ trợ vào mạch, hoặc sử dụng các sơ đồ đặc biệt. Mỗi động cơ có thể có nhiều đặc tính cơ nhân tạo.

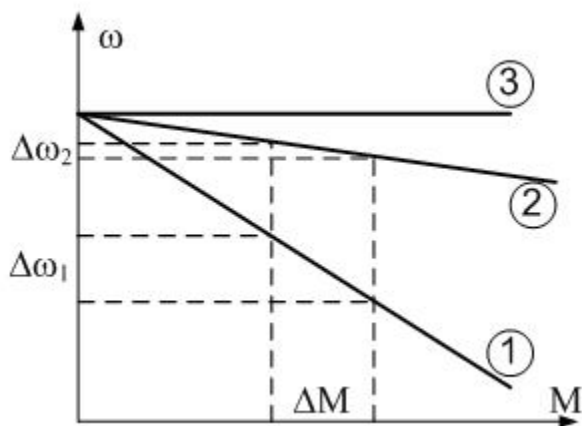
Độ cứng đặc tính cơ:

+ Đánh giá và so sánh các đặc tính cơ, người ta đưa ra khái niệm “độ cứng đặc tính cơ” và được tính:

$$\beta = \frac{\partial M}{\partial \omega} \quad (1.4)$$

nếu đặc tính cơ tuyến tính thì:  $\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega}$  (1.5)

Hoặc theo hệ đơn vị tương đối:  $\beta = \frac{dM}{d\omega}$  là lượng sai phân của mômen  $\Delta M$  và  $\Delta \omega$ .



**Hình 1.3: Độ cứng đặc tính cơ.**

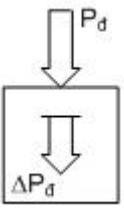
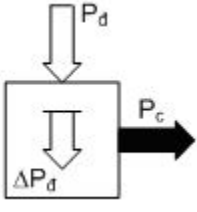
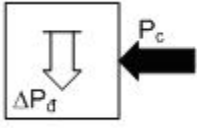
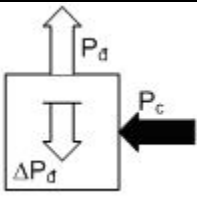
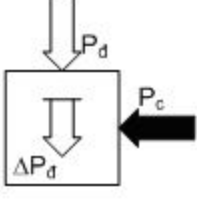
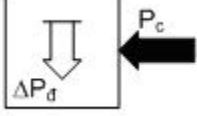
- + Động cơ không đồng bộ có độ cứng đặc tính cơ thay  $\beta$  đổi giá trị ( $\beta > 0$ ,  $\beta < 0$ ).
- + Động cơ đồng bộ có đặc tính cơ tuyệt đối cứng ( $\approx \infty$ ).
- + Động cơ một chiều kích từ độc lập có độ cứng đặc tính cơ cứng ( $\beta \geq 40$ ).
- + Động cơ một chiều kích từ độc lập có độ cứng đặc tính cơ mềm ( $\beta \leq 10$ ).

### 1.2. 3. Trạng thái làm việc của hệ TĐĐ TĐ.

+ Trong hệ truyền động điện tự động bao giờ cũng có quá trình biến đổi năng lượng điện năng thành cơ năng hoặc ngược lại. Chính quá trình biến đổi này quyết định trạng thái làm việc của hệ truyền động điện.

**Bảng 1-1: Trạng thái làm việc hệ truyền động điện**

TT	Biểu đồ công suất	$P_{\text{điện}}$	$P_{\text{cơ}}$	$\Delta P$	Trạng thái làm việc
----	-------------------	-------------------	-----------------	------------	---------------------

1		$P_{\text{điện}}$	$= 0$	$= P_{\text{điện}}$	- Động cơ không tải
2		$P_{\text{điện}}$	$> 0$	$= P_d - P_c$	- Động cơ có tải ( chế độ động cơ)
3		$= 0$	$< 0$	$=  P_{\text{cơ}} $	- Hãm không tải
4		$< 0$	$< 0$	$=  P_c - P_d $	- Hãm tái sinh
5		$> 0$	$> 0$	$=  P_c + P_d $	- Hãm ngược
6		$= 0$	$= 0$	$=  P_{\text{cơ}} $	- Hãm động năng

*Ở trạng thái động cơ:* Ta coi dòng công suất điện  $P_{\text{điện}}$  có giá trị dương nếu như nó có chiều truyền từ nguồn đến động cơ và từ động cơ biến đổi công suất điện thành công suất cơ:  $P_{\text{cơ}} = M \cdot \omega$  cấp cho máy sản xuất và được tiêu thụ tại cơ cấu công tác của máy. Công suất cơ này có giá trị dương nếu như mômen động cơ sinh ra cùng chiều với tốc độ quay.

*Ở trạng thái máy phát:* thì ngược lại, khi hệ truyền động làm việc, trong một điều kiện nào đó cơ cấu công tác của máy sản xuất có thể tạo ra cơ năng do động năng hoặc thế năng tích lũy trong hệ đủ lớn, cơ năng đó được truyền về trục động cơ, động cơ tiếp nhận năng lượng này và làm việc như một máy phát điện. Công suất điện có giá trị âm nếu nó có chiều từ động cơ về nguồn, công suất cơ có giá trị âm khi nó truyền từ máy sản

xuất về động cơ và mômen động cơ sinh ra ngược chiều với tốc độ quay. Mômen của máy sản xuất được gọi là mômen phụ tải hay mômen cản. Nó cũng được định nghĩa dấu âm và dương, ngược lại với dấu mômen của động cơ.

+ Phương trình cân bằng công suất của hệ TĐĐ TĐ là:

$$P_d = P_c + \Delta P_d \quad (1.6)$$

Trong đó:  $P_d$  là công suất điện;  $P_c$  là công suất cơ;  $\Delta P$  là tổn thất công suất.

- Trạng thái động cơ gồm: chế độ có tải và chế độ không tải. Trạng thái động cơ phân bố ở góc phần tư I, III của mặt phẳng  $\omega$  (M).

- Trạng thái hãm có: Hãm không tải, Hãm tái sinh, Hãm ngược và Hãm động năng.

Trạng thái hãm ở góc phần tư II, IV của mặt phẳng  $\omega$ (M).

- Hãm tái sinh:  $P_{\text{điện}} < 0$ ,  $P_{\text{cơ}} < 0$ , cơ năng biến thành điện năng trả về lưới.

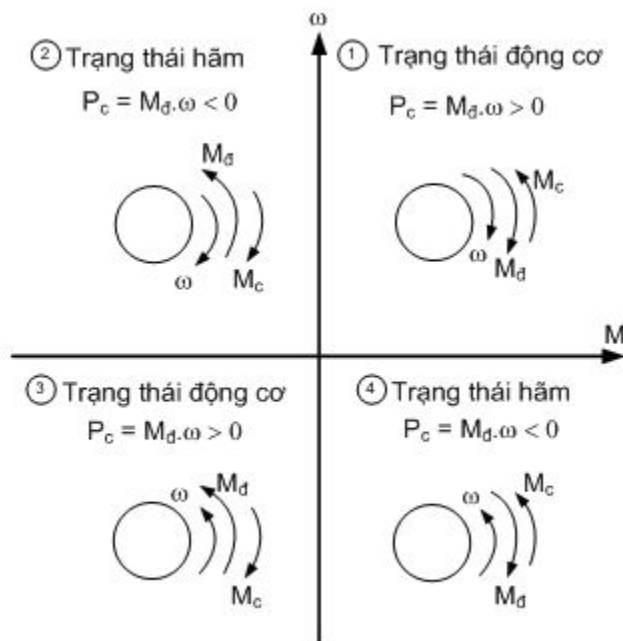
- Hãm ngược:  $P_{\text{điện}} > 0$ ,  $P_{\text{cơ}} < 0$ , điện năng và cơ năng chuyển thành tổn thất  $\Delta P$ .

- Hãm động năng:  $P_{\text{điện}} = 0$ ,  $P_{\text{cơ}} < 0$ , cơ năng biến thành công suất tổn thất  $\Delta P$ .

\* Các trạng thái làm việc trên mặt phẳng [M,  $\omega$ ]:

Trạng thái động cơ: tương ứng với các điểm nằm trong góc phần tư thứ nhất và góc phần tư thứ ba của mặt phẳng [M,  $\omega$ ] hình 1. 4.

Trạng thái máy phát: tương ứng với các điểm nằm trong góc phần tư thứ hai và góc phần tư thứ tư của mặt phẳng [M,  $\omega$  ], hình 1. 4.



**Hình 1.4: Trạng thái làm việc của truyền động điện**

#### 1.2.4. Tính đổi các đại lượng cơ học :

##### 1.2.4.1. Mômen và lực quy đổi.

+ Quan niệm về sự tính đối như việc dời điểm đặt từ trục này về trục khác của mômen hay lực có xét đến tổn thất ma sát ở trong bộ truyền lực. Thường quy đổi mômen cản  $M_c$ , (hay lực cản  $F_c$ ) của bộ phận làm việc về trục động cơ.

+ Điều kiện quy đổi: đảm bảo cân bằng công suất trong phần cơ của hệ TĐĐ TĐ:

- Khi năng lượng truyền từ động cơ đến máy sản xuất:

$$P_{tr} = P_c + \Delta P \quad (1.7)$$

Trong đó:

$P_{tr}$  là công suất trên trục động cơ,  $P_{tr} = M_{cqd} \cdot \omega_d$

( $M_{cqd}$  và  $\omega_d$  - mômen cản tĩnh quy đổi và tốc độ góc trên trục động cơ).

$P_c$  là công suất của máy sản xuất,  $P_c = M_{lv} \cdot \omega_{lv}$

( $M_{lv}$  và  $\omega_{lv}$  - mômen cản và tốc độ góc trên trục làm việc).

$\Delta P$  là tổn thất trong các khâu cơ khí.

\* Nếu tính theo hiệu suất hộp tốc độ đối với chuyển động quay:

$$P_{tr} = \frac{P_c}{\eta_i} = \frac{M_{lv} \omega_{lv}}{\eta_i} = M_{cqd} \cdot \omega \quad (1.8)$$

$$\text{Rút ra: } M_{cqd} = \frac{M_{lv} \omega_{lv}}{\eta_i \cdot \omega} = \frac{M_{lv}}{\eta_i \cdot i} \quad (1.9)$$

$\eta_i$  - hiệu suất của hộp tốc độ. Trong đó:  $i = \frac{\omega_d}{\omega_{lv}}$  gọi là tỷ số truyền của hộp tốc độ.

\* Nếu chuyển động tịnh tiến thì lực quy đổi:

$$M_{cqd} = \frac{F_{lv}}{\eta \cdot \rho} \quad (1.10)$$

Trong đó:

$\eta = \eta_t \cdot \eta_i$  hiệu suất bộ truyền lực.

$\eta_t$  hiệu suất của tang trống

$\rho = \frac{\omega_d}{v_{lv}}$  gọi là tỷ số quy đổi

- Khi năng lượng truyền từ máy sản xuất đến động cơ:

$$P_{tr} = P_c - \Delta P \quad (1.11) \quad (\text{tự chứng minh}).$$

#### 1.2.4.2. Quy đổi mômen quán tính và khối lượng quán tính:

+ Điều kiện quy đổi: bảo toàn động năng tích lũy trong hệ thống:

$$W = \sum_1^n W_i \quad (1.12)$$

Chuyển động quay:  $W = \frac{1}{2} J\omega^2$  (1.13)

Chuyển động tịnh tiến:  $W = \frac{mv^2}{2}$  (1.14)

### 1.2.5 . Phương trình động học của hệ TĐĐ TĐ

+ Là quan hệ giữa các đại lượng ( $\omega$ ,  $n$ ,  $L$ ,  $M$ , ...) với thời gian:

Dạng tổng quát:

$$\sum_{i=1}^n M_i = \frac{d(J\omega)}{dt} \quad (1.15)$$

+ Nếu coi mômen do động cơ sinh ra và mômen cản ngược chiều nhau, và  $J = \text{const}$ , thì ta có phương trình dưới dạng số học:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1.16)$$

$\omega$  (Rad/s); Theo hệ đơn vị SI:  $M$ (N.m);  $J$ (kg.m<sup>2</sup>);  $t$ (s).

Theo hệ kỹ thuật:  $M$ (KG.m);  $GD$ (KG.m<sup>2</sup>);  $n$ (vg/ph);  $t$ (s):

$$M - M_c = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (1.17)$$

Theo hệ hỗn hợp:  $M$ (N.m);  $J$ (kg.m<sup>2</sup>);  $n$ (vg/ph);  $t$ (s):

$$M - M_c = \frac{J}{9,55} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (1.18)$$

Mômen động:  $M_{đg} = M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$  (1.19)

Từ phương trình (1..) ta thấy rằng:

- Khi  $M_{đg} > 0$  hay  $M > M_c$ , thì:  $\frac{d\omega}{dt} > 0 \rightarrow$  hệ tăng tốc

- Khi  $M_{đg} < 0$  hay  $M < M_c$ , thì:  $\frac{d\omega}{dt} < 0 \rightarrow$  hệ giảm tốc.

- Khi  $M_{đg} = 0$  hay  $M = M_c$ , thì:  $\frac{d\omega}{dt} = 0 \rightarrow$  hệ làm việc xác lập, hay hệ làm việc

ổn định:  $\omega = \text{const}$ .

\* Nếu chọn và lấy chiều của tốc độ  $\omega$  làm chuẩn thì:  $M(+)$  khi  $M \cdot \omega \downarrow \downarrow$  và  $M(-)$  khi  $M \cdot \omega \uparrow \uparrow$ ; Còn  $M_c(+)$  khi  $M_c \cdot \omega \downarrow \uparrow$ ;  $M_c(-)$  khi  $M_c \cdot \omega \downarrow \uparrow$ .



**1.2.6. Điều kiện ổn định tĩnh của hệ TĐĐ TD**

Như phần trước đã nêu, điểm làm việc ổn định là giao của hai đặc tính cơ của cơ của động cơ và của cơ cấu sản xuất:  $M(\omega)$  và  $M_c(\omega)$ . Tuy nhiên, không phải bất kỳ điểm làm việc nào như vậy của động cơ với các loại tải cũng là các điểm làm việc ổn định, mà đó mới chỉ là *điều kiện cần*, *điều kiện đủ* là điểm giao nhau đó phải thỏa mãn điều kiện ổn định, người ta gọi là *ổn định tĩnh* hay là sự làm việc phù hợp giữa động cơ với tải.

Để xác định điều kiện đó, ta dựa vào phương trình động học tại giao điểm:

$$M = J \frac{d\omega}{dt} + M_c$$

Suy ra, điều kiện để ổn định là:  $\left(\frac{\partial M}{\partial \omega}\right)_x - \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega}\right)_x < 0$  (1-22)

Hay:  $\beta_D - \beta_c < 0$  (1.20) (1-23)

Vậy, điều kiện cần và đủ để hệ thống truyền động điện làm việc ổn định tại một điểm là: Tại điểm đó phải thỏa mãn đồng thời hai điều kiện:

Điều kiện 1:  $M_D - M_c = 0$

Điều kiện 2:  $\beta_D - \beta_c < 0$

Ví dụ: Xét xem điểm A có phải là điểm làm việc ổn định không?

Theo hình vẽ trên, dễ nhận thấy:

- Điểm A thỏa mãn điều kiện cần: Tại A:

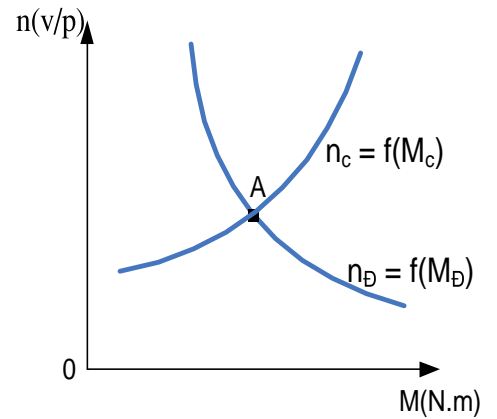
Xét điều kiện đủ:

$$\Delta M_c < 0; \Delta M_D > 0 \quad \Delta n_c = \Delta n_D > 0$$

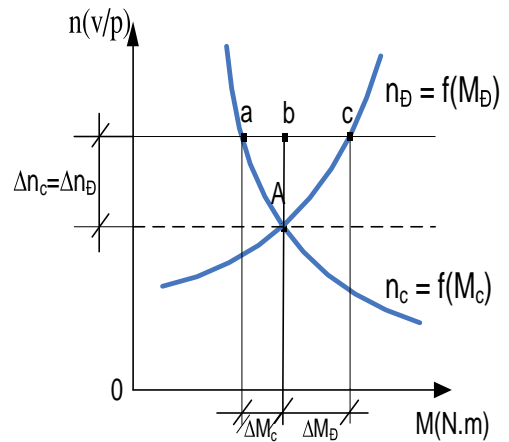
(1.21)

$$\Rightarrow \beta_D = \frac{\Delta M_D}{\Delta n_D} = \frac{\Delta M_D}{\Delta n_c} > 0; \beta_c = \frac{\Delta M_c}{\Delta n_c} = \frac{\Delta M_c}{\Delta n_D} < 0$$

(1.22)



**Hình 1.5: Minh họa điểm làm việc ổn định.**



**Hình 1.6: Minh họa cách xét điểm làm việc ổn định.**

Vậy:  $\beta_D - \beta_c > 0$  (1.23)

- Kết luận: Điểm A không thỏa mãn điều kiện đủ, A không phải là điểm làm việc ổn định.

### Câu hỏi ôn tập

1. Chức năng và nhiệm vụ của hệ thống truyền động điện là gì ?
2. Có mấy loại máy sản xuất và cơ cấu công tác ?
3. Hệ thống truyền động điện gồm các phần tử và các khâu nào ? Lấy ví dụ minh họa ở một máy sản xuất mà các anh (chị) đã biết ?
4. Mômen cản hình thành từ đâu? Đơn vị đo lường của nó ? Công thức quy đổi mômen cản từ trục của cơ cấu công tác về trục động cơ ?
5. Mômen quán tính là gì ? Đơn vị đo lường của nó ? Công thức tính quy đổi mômen quán tính từ tốc độ  $\omega_i$  nào đó về tốc độ của trục động cơ  $\omega$ ?
6. Thế nào là mômen cản thế năng? Đặc điểm của nó thể hiện trên đồ thị theo tốc độ ? Lấy ví dụ một cơ cấu có mômen cản thế năng.
7. Thế nào là mômen cản phản kháng? Lấy ví dụ một cơ cấu có mômen cản phản kháng.
8. Định nghĩa đặc tính cơ của máy sản xuất. Phương trình tổng quát của nó và giải tích các đại lượng trong phương trình ?
9. Hãy vẽ đặc tính cơ của các máy sản xuất sau: máy tiện; cần trục, máy bào, máy bơm.
10. Viết phương trình chuyển động cho hệ truyền động điện có phần cơ dạng mẫu cơ học đơn khối và giải thích các đại lượng trong phương trình ?
11. Dùng phương trình chuyển động để phân tích các trạng thái làm việc của hệ thống truyền động tương ứng với dấu của các đại lượng  $M$  và  $M_c$  ?
12. Định nghĩa đặc tính cơ của động cơ điện ?
13. Định nghĩa độ cứng đặc tính cơ ? Có thể xác định độ cứng đặc tính cơ theo những cách nào ?
14. Phân biệt các trạng thái động cơ và các trạng thái hãm của động cơ điện bằng những dấu hiệu nào? Lấy ví dụ thực tế về trạng thái hãm của động cơ trên một cơ cấu mà anh (chị) đã biết ?
15. Chiều của dòng năng lượng sẽ như thế nào khi động cơ làm việc ở trạng thái động cơ ?
16. Chiều của dòng năng lượng sẽ như thế nào khi động cơ làm việc ở trạng thái máy phát ?

17. Điều kiện ổn định tĩnh là gì ? Phân tích một điểm làm việc xác lập ổn định tĩnh trên tọa độ  $[M, \omega]$  và  $[M_c, \omega]$ ?

TaiLieu.vn

## Chương 2

### ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Mục tiêu : Trang bị cho sinh viên kiến cơ bản về đặc tính cơ của các động cơ điện thông dụng và ứng dụng từ các họ đặc tính cơ

Tài liệu tham khảo : Bùi Quốc Khánh (2002), Giáo trình Truyền động điện, NXBKHK

#### 2.1. Khái niệm chung :

\* **Đặc tính cơ của động cơ điện:** Quan hệ giữa tốc độ và mômen cơ ở đầu trục động cơ gọi là đặc tính cơ của động cơ điện:  $\omega = f(M)$  hay  $n = f(M)$  hoặc ngược lại.

\* **Đặc tính cơ của máy sản xuất:** Đặc tính cơ của MSX là mối quan hệ giữa tốc độ quay của MSX ( $\omega_c, n_c$ ) và mômen của nó ( $M_c$ ):  $n_c = f(M_c)$  ( $M_c = f(n_c)$ ) hay  $\omega_c = f(M_c)$  ( $M_c = f(\omega_c)$ ).

\* **Đặc tính cơ điện:** Quan hệ giữa tốc độ và dòng điện trong mạch phân ứng động cơ:  $\omega = f(I)$  hay  $n = f(I)$  hoặc ngược lại.

Đơn vị tính:  $\omega$ (Rad/s);  $n$ (vòng/phút);  $M, M_c$ (N.m).

$$\text{Quy đổi: } \omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \text{ hay } n = \frac{30\omega}{\pi}. \quad (2.1)$$

\* **Biểu diễn các đại lượng trong hệ đơn vị tương đối:** Cách biểu diễn các đại lượng như trên được gọi là biểu diễn các đại lượng trong hệ đơn vị tuyệt đối (hệ đơn vị có tên, các đại lượng đều có thứ nguyên). Trong nhiều trường hợp, cách biểu diễn này tỏ ra không thuận tiện. Người ta chuyển sang cách biểu diễn các đại lượng trong hệ đơn vị tương đối (hệ đơn vị không tên, các đại lượng không có thứ nguyên), nhằm đơn giản hóa việc tính toán, dễ dàng so sánh các đại lượng với nhau, dễ nhận biết khả năng làm việc của động cơ với phụ tải đang tác động lên đầu trục động cơ, đánh giá được các chế độ làm việc của truyền động điện.

$$\text{Một đại lượng trong hệ đơn vị tương đối được kí hiệu là } x^* = \frac{x}{x_{cb}} \quad (2.2)$$

Trong đó:  $x$ : Trị số của đại lượng đó,  $x_{cb}$ : Trị số cơ bản của đại lượng đó.

Các đại lượng cơ bản thường được chọn là:  $U_{dm}, I_{dm}, \omega_{dm}, M_{dm}, \Phi_{dm}, R_{cb}, \dots$

$$\text{Do đó: } U^* = \frac{U}{U_{dm}}; U^* \% = \frac{U}{U_{dm}} 100\%; R^* = \frac{R}{R_{cb}}; \omega^* = \frac{\omega}{\omega_{dm}}; \omega^* = \frac{\omega}{\omega_0} \dots \dots \quad (2.3)$$

Trong đó:

$\omega_{cb} = \omega_{dm}$ : Đối với động cơ một chiều kích từ nối tiếp.

$\omega_{cb} = \omega_0$ : Đối với động cơ một chiều kích từ song song hoặc độc lập.

$\omega_{cb} = \omega_1 = \omega_{db}$ : Đối với động cơ KĐB, ĐCĐB.

$R_{cb} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}}$ : Đối với động cơ điện một chiều.

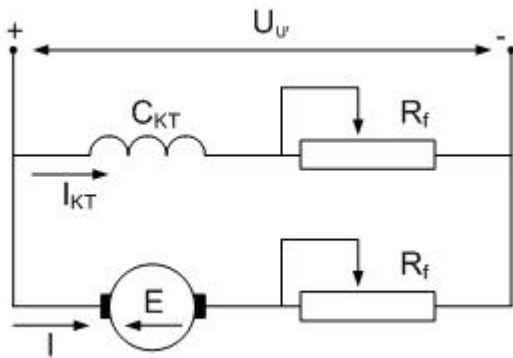
$R_{2cb} = Z_{2cb}$ : Đối với động cơ điện không đồng bộ;

Khi rotor đấu sao:  $R_{2cbY} = \frac{E_{2nm}}{\sqrt{3}I_{2dm}}$ . (2.4)

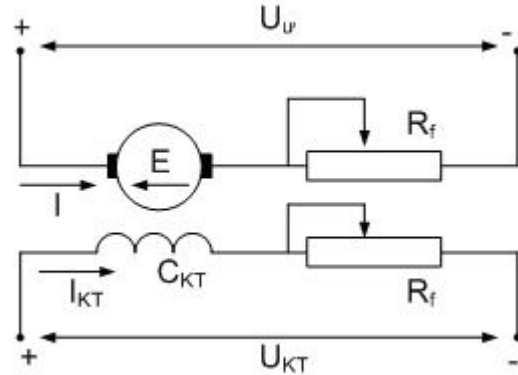
Khi rotor đấu tam giác:  $R_{2cb\Delta} = \frac{1}{2} R_{2cbY}$ . (2.5)

## 2.2 . Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập.

Khi nguồn điện một chiều có công suất vô cùng lớn và điện áp không đổi thì mạch kích từ thường mắc song song với mạch phần ứng, lúc này động cơ được gọi là động cơ kích từ song song (hình 2.1)



**Hình 2.1:** Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ song song.



**Hình 2.2:** Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ độc lập

Khi nguồn điện một chiều có công suất không đủ lớn thì mạch điện phần ứng và mạch kích từ mắc vào hai nguồn một chiều độc lập với nhau, lúc này động cơ được gọi là động cơ kích từ độc lập (hình 2.2)

### 2.2.1. Phương trình đặc tính cơ - ảnh hưởng của các tham số.

#### 2.2.1.1. Phương trình đặc tính cơ :

Theo sơ đồ hình 2-1 và 2-2 ta có phương trình cân bằng điện áp phần ứng:

$$U_Ur = E_U + I_U \cdot (R_U + R_P). \quad (2.6)$$

- Trong đó:
- $U_Ur$  : Điện áp phần ứng, (V)
  - $E_U$  : Sức điện động phần ứng, (V)
  - $R_U$  : Điện trở của mạch phần ứng, ( $\Omega$ )
  - $R_P$  : Điện trở phụ trong mạch phần ứng, ( $\Omega$ )

$I_r$  : Dòng điện mạch phản ứng.

Với  $R_r = r_r + r_{cf} + r_b + r_{ct}$ ,

$r_r$  : Điện trở cuộn dây phản ứng,

$r_{cf}$  : Điện trở cuộn cực từ phụ,

$r_b$  : Điện trở cuộn bù,

$r_{ct}$  : Điện trở tiếp xúc của chổi điện,

Sức điện động  $E_r$  của phần ứng động cơ được xác định theo biểu thức:

$$E_r = \frac{p \cdot N}{2\pi a} \Phi \omega = K \Phi \omega \quad (2.7)$$

Trong đó:  $p$  : Số đôi cực từ chính,

$N$  : Số thanh dẫn tác dụng của cuộn dây phản ứng,

$a$  : Số đôi mạch nhánh song song của cuộn dây phản ứng,

$\Phi$  : Từ thông kích từ dưới một cực từ,  $W_b$

$\omega$  : Tốc độ góc, rad/s,

$$K = \frac{pN}{2\pi a} : \text{Hệ số cấu tạo của động cơ.}$$

Nếu biểu diễn sức điện động theo tốc quay  $n$  (vòng/phút) thì:

$$E_r = K \Phi n \quad (2.8)$$

Và:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{n}{9,55} \quad (2.9)$$

Vì vậy:

$$E_r = \frac{pN}{60a} \Phi n \quad (2.10)$$

Do đó:  $K_e = \frac{pN}{60a}$  - Hệ số sức điện động của động cơ.

Hay:  $K_e = \frac{K}{9,55} \approx 0,105K$ .

Suy ra:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_f}{K\Phi} I_u \quad (2.11)$$

Biểu thức (2.11) là phương trình đặc tính cơ điện của động cơ.

Mặt khác mômen điện từ  $M_{dt}$  của động cơ được xác định:

$$M_{dt} = K\Phi I_r \quad (2.12)$$

Suy ra: 
$$I_r = \frac{M_{dt}}{K\Phi} \quad (2.13)$$

Thay giá trị  $I_r$  ta được:

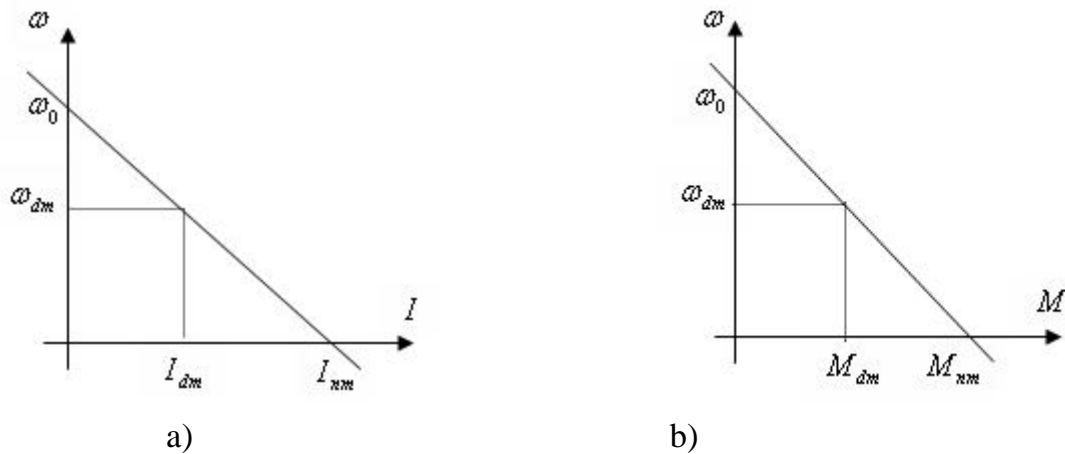
$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_f}{(K\Phi)^2} M_{dt} \quad (2.14)$$

Nếu bỏ qua các tổn thất cơ và tổn thất thép thì mômen cơ trên trục động cơ  $M$  bằng mômen điện từ:  $M_{dt} = M_{cơ} = M$ .

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_f}{(K\Phi)^2} M \quad (2.15)$$

Đây là phương trình đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc.

- ❖ Giả thiết phản ứng được bù đủ,  $\Phi = const$ , thì phương trình đặc tính cơ điện và phương trình đặc tính cơ là tuyến tính. Chúng được biểu diễn là những đường thẳng:



**Hình 2.3: a) Đặc tính cơ điện của động cơ điện một chiều kích từ độc lập.**

**b) Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập.**

+) Ta thấy, khi không tải, lý tưởng coi  $I_r = 0$  hoặc  $M = 0$  thì:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} = \omega_0 \quad (2.16)$$

$\omega_0$ : Tốc độ không tải lý tưởng của động cơ.

+) Còn khi ngắn mạch động cơ, tức động cơ được cấp nguồn phần ứng mà rôto không quay, đây là trạng thái bắt đầu khởi động hoặc mất từ thông động cơ hay cơ cấu máy sản xuất bị kẹt,  $\omega = 0$  ta có:

---


$$I_u = \frac{U_u}{R_u + R_f} = I_{nm}$$


---

(2.17)

$$\text{Và} \quad M = K\Phi I_{nm} = M_{nm} \quad (2.18)$$

$I_{nm}, M_{nm}$  là dòng điện ngắn mạch và mômen ngắn mạch.

❖ Mặt khác phương trình đặc tính có thể được biểu diễn:

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_f}{K\Phi} I_u = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{RI}{K\Phi} = \omega_0 - \Delta\omega \quad (2.19)$$

$$\omega = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{R_u + R_f}{(K\Phi)^2} M = \frac{U_u}{K\Phi} - \frac{RM}{(K\Phi)^2} = \omega_0 - \Delta\omega \quad (2.20)$$

Trong đó:  $R = R_u + R_f$ ,  $\omega_0 = \frac{U_u}{K\Phi}$

$$\Delta\omega = \frac{R}{K\Phi} I_u = \frac{R}{(K\Phi)^2} M$$

$\Delta\omega$  : Độ sụt tốc độ ứng với mỗi giá trị của M.

Ta có thể biểu diễn đặc tính cơ điện và đặc tính cơ trong hệ đơn vị tương đối, với điều kiện từ thông là định mức ( $\Phi = \Phi_{dm}$ )

Trong đó:  $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}$ ,  $I^* = \frac{I}{I_{dm}}$ ,  $M^* = \frac{M}{M_{dm}}$ ,  $R^* = \frac{R}{R_{cb}}$ .

( $R_{cb} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}}$  là điện trở cơ bản).

Ta biết đặc tính cơ điện và đặc tính cơ ở đơn vị tương đối:

$$\omega^* = 1 - R^* I^* \quad (2.21)$$

$$\omega^* = 1 - R^* M^* \quad (2.22)$$

2.2.1.2. Xét ảnh hưởng của các tham số đến đặc tính cơ :

Từ phương trình đặc tính cơ ta thấy có ba tham số ảnh hưởng đến đặc tính cơ:

- Từ thông động cơ  $\Phi$ .
- Điện áp phần ứng  $U_u$
- Điện trở phần ứng động cơ  $R_u$ .

Ta lần lượt xét ảnh hưởng của từng tham số:

\* Ảnh hưởng của điện trở phần ứng và hệ đặc tính biến trở:

Giả thiết:  $U_u = U_{dm} = const$

$$\Phi = \Phi_{dm} = const.$$



Trong thực tế vận hành, người ta có thể nối thêm điện trở phụ  $R_f$  vào mạch phản ứng vì những mục đích khác nhau, ví dụ để giảm dòng điện phản ứng, để điều chỉnh tốc độ, mô men động cơ... Khi đó nhận thấy:

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} = const \quad (2.23)$$

Độ cứng của đặc tính cơ thay đổi giá trị:

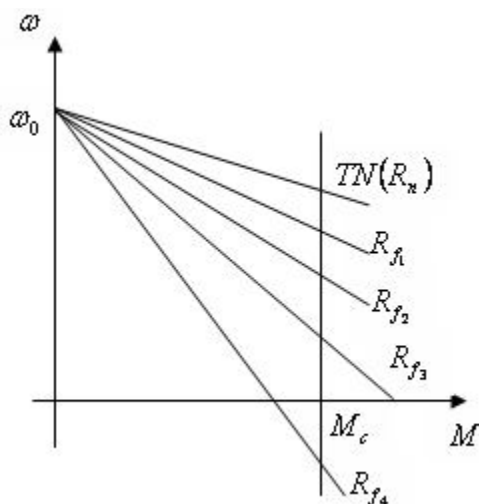
$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = -\frac{(K\Phi_{dm})^2}{R_u + R_f} = var \quad (2.24)$$

Khi  $R_f$  càng lớn, trị số  $\beta$  càng nhỏ nghĩa là đặc tính cơ càng dốc. ứng với  $R_f = 0$  ta có đặc tính cơ tự nhiên:

$$\beta_{TN} = -\frac{(K\Phi_{dm})^2}{R_u} \quad (2.25)$$

$\beta_{TN}$  có giá trị lớn nhất đối với một động cơ.

Như vậy khi thay đổi điện trở phụ ta được một họ đường đặc tính biến trở có dạng như hình vẽ. ứng với mỗi phụ tải  $M_c$  nào đó, nếu điện trở phụ càng lớn thì tốc độ động cơ càng giảm đồng thời dòng điện ngắn mạch và mômen ngắn mạch cũng giảm. Cho nên người ta thường sử dụng phương pháp này để hạn chế dòng điện và điều chỉnh tốc độ động cơ phía dưới tốc độ cơ bản.



**Hình 2.4: Đặc tính cơ khi thay đổi điện trở phụ**

\* Ảnh hưởng của điện áp phản ứng và họ đặc tính giảm áp:

Giả thiết:  $\Phi = \Phi_{dm} = const$ ,  $R_u = const$ .

Khi thay đổi điện áp theo hướng giảm so với  $U_{dm}$  ta có:

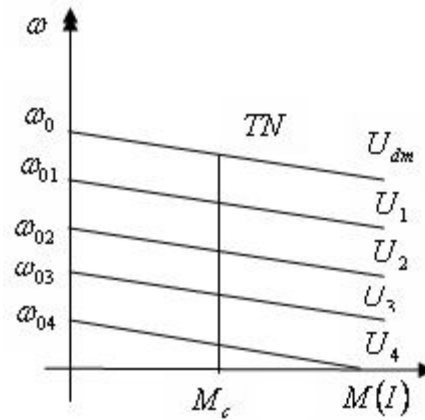
Tốc độ không tải thay đổi:

$$\omega_{0x} = \frac{U_x}{K\Phi_{dm}} = \text{var}$$

Độ cứng đặc tính cơ:

$$\beta = -\frac{(K\Phi)^2}{R_u} = const$$

Như vậy khi thay đổi điện áp đặt vào phần ứng động cơ ta được một họ đặc tính cơ song song với đặc tính cơ tự nhiên như hình vẽ.



Hình 2.5: Các đặc tính của động cơ một chiều kích từ độc lập khi giảm áp đặt vào phần ứng động cơ

Ta thấy rằng khi thay đổi điện áp (giảm áp) thì mômen ngắn mạch, dòng điện ngắn mạch của động cơ giảm và tốc độ động cơ cũng giảm ứng với một phụ tải nhất định. Do đó phương pháp này cũng được sử dụng để điều chỉnh tốc độ động cơ và hạn chế dòng điện khi khởi động

\* Ảnh hưởng của từ thông:

Giả thiết:  $U_u = U_{dm} = const$ ,  $R_u = const$ .

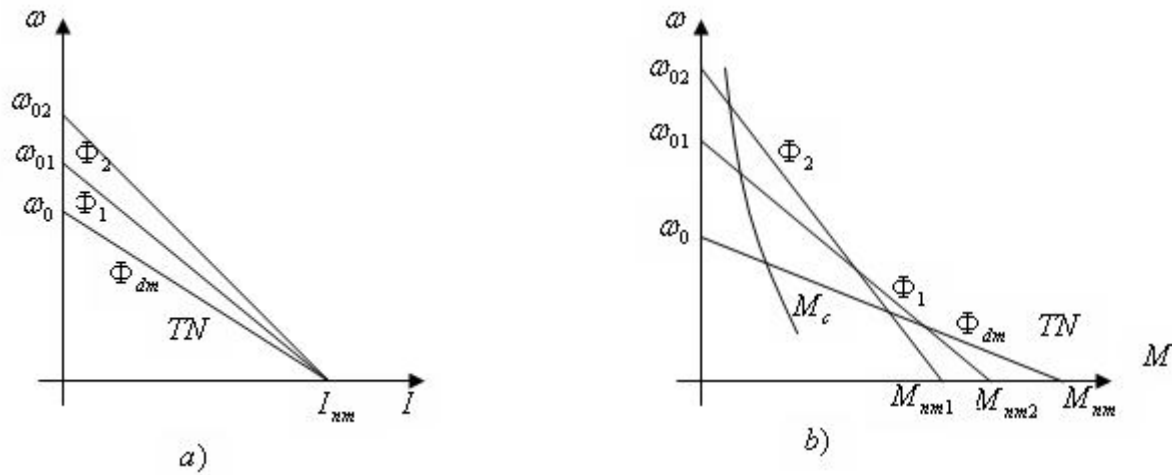
Muốn thay đổi từ thông ta thay đổi dòng điện kích từ động cơ.

Trong trường hợp này :

Tốc độ không tải:  $\omega_{0x} = \frac{U_{dm}}{K\Phi_x} = \text{var}$

Độ cứng đặc tính cơ:  $\beta = -\frac{(K\Phi_x)^2}{R_u} = \text{var}$

Do cấu tạo của động cơ điện, thực tế thường điều chỉnh giảm từ thông. Nên khi từ thông giảm thì  $\omega_{0x}$  tăng còn  $\beta$  sẽ giảm. Ta có một họ đặc tính cơ với  $\omega_{0x}$  tăng dần và độ cứng của đặc tính giảm dần khi giảm từ thông.



**Hình 2.6: Đặc tính cơ điện (a) và đặc tính cơ (b) của động cơ điện**

một chiều kích từ độc lập khi giảm từ thông

Ta nhận thấy rằng khi thay đổi từ thông:

Dòng điện ngắn mạch: 
$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u} = const$$

Mômen ngắn mạch: 
$$M_{nm} = K\Phi_x I_{nm} = var$$

Các đặc tính cơ điện và đặc tính cơ khi giảm từ thông được biểu diễn trên hình a.

Với dạng mômen phụ tải  $M_c$  thích hợp với chế độ làm việc của động cơ thì khi giảm từ thông tốc độ động cơ tăng lên như hình b.

### 2.2.2. Vẽ các đặc tính cơ

#### 2.2.2.1. Cách vẽ đặc tính cơ tự nhiên :

Vì đặc tính cơ của động cơ là đường thẳng nên khi vẽ ta chỉ cần xác định 2 điểm của đường thẳng.

Ta thường chọn: *điểm không tải lý tưởng* và *điểm định mức*.

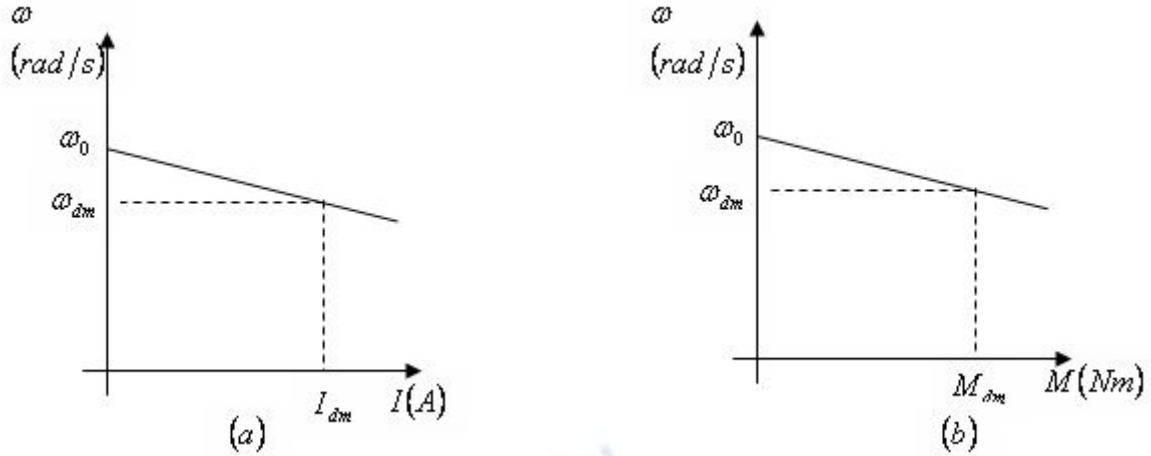
❖ Đặc tính cơ điện tự nhiên (xem hình 2.7a)

- Điểm thứ nhất:  $(I_r = 0, \omega = \omega_0)$

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} \quad K\Phi_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}R_u}{\omega_{dm}} \quad (2.26)$$

- Điểm thứ hai:  $(I = I_{dm}, \omega = \omega_{dm})$

$$\omega_{dm} = \frac{\eta_{dm}}{9,55} \quad (2.27)$$



**Hình 2.7 : Cách vẽ đặc tính cơ điện tự nhiên (a) và đặc tính cơ tự nhiên (b) của động cơ một chiều kích từ độc lập**

✓ Đặc tính cơ tự nhiên (xem hình 2.7b).

- Điểm thứ nhất:  $(M = 0; \omega = \omega_0)$

Xác định  $\omega_0$

Như ở đặc tính cơ điện.

- Điểm thứ hai:  $(M = M_{dm}; \omega = \omega_{dm})$

Trong đó:  $M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}}, N.m$

#### 2.2.2.2. Cách vẽ đặc tính nhân tạo :

✓ Đặc tính biên trở: Các đặc tính biên trở đều đi qua điểm không tải lý tưởng  $\omega_0$ , vì vậy khi vẽ các đặc tính này chỉ cần xác định điểm thứ hai. Thường chọn là điểm ứng với tải định mức:

- Đối với đặc tính cơ điện:  $\omega$  ứng với  $I_{dm}$

- Đối với đặc tính cơ :  $\omega$  ứng với  $M_{dm}$

Từ phương trình đặc tính cơ điện tự nhiên (3-6) ta có:

$$\omega_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}R_u}{K\Phi_{dm}} \quad (2.28)$$

Và phương trình đặc tính biên trở tính được:

$$\omega/I_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}(R_u + R_f)}{K\Phi_{dm}} \quad (2.29)$$